TP 14559F

Développement et essais d'un système de positionnement des navires dans les écluses de la Voie maritime du Saint-Laurent

Préparé pour le

Centre de développement des transports
de Transports Canada

et la

Corporation de gestion de la Voie maritime du Saint-Laurent

par

Mars 2006

106-07483

TP 14559F

Développement et essais d'un système de positionnement des navires dans les écluses de la Voie maritime du Saint-Laurent

par
Yan Lévesque

Mars 2006

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions ou les politiques officielles du Centre de développement des transports de Transports Canada ou de l'organisme parrain.

Le Centre de développement des transports et l'organisme parrain n'ont pas l'habitude de citer des noms de produits ou de fabricants. S'ils le font ici, c'est simplement pour la bonne compréhension du texte.

Ce rapport n'utilise pas (toujours) les unités du Système international, étant donné que dans le secteur d'activités concerné seules certaines unités impériales ont cours.

A translation of this report is also available in English : *Development and Trials of a Vessel Self-Positioning System for the St. Lawrence Seaway Locks*, TP 14559E.

© 2006 Transports Canada

Transports Canada / Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 14559F	5557	

4. Titre et sous-titre	5. Date de la publication
Développement et essais d'un système de positionnement des navires dans les écluses de la Voie maritime du Saint-Laurent	Mars 2006
	6. N° de document de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier - Transports Canada
Yan Lévesque	2450-CP-406

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier - TPSGC
Maritime Innovation 53, rue Saint-Germain Ouest Rimouski (Québec) G5L 4B4	11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de publication et période visée
Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest Bureau 600 Montréal (Québec) H3B 1X9	Final
	14. Agent de projet André Taschereau

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

Coparrainé par la Corporation de gestion de la Voie maritime du Saint-Laurent

16. Résumé

Ce document décrit les travaux de développement et d'essais d'un système de positionnement automatisé des navires dans les écluses de la Voie maritime du Saint-Laurent.

Une recherche documentaire et à travers différentes compagnies spécialisées dans les appareils de mesure et de positionnement a fait ressortir plusieurs technologies prometteuses. De ces technologies applicables à l'élaboration d'un prototype, deux sont en mesure de respecter les exigences requises : le télémètre laser et l'analyse d'images. La version de mesure en deux dimensions d'un télémètre laser a été retenue afin de vérifier et quantifier ses performances.

Un prototype installé à l'écluse de Côte Sainte-Catherine a recueilli des données pendant l'été et l'automne 2005 afin de vérifier la portée et la précision de ce type d'appareil sous diverses conditions atmosphériques.

Les résultats démontrent qu'une unité de ce type d'appareil est en mesure de positionner les navires pleine grandeur. L'installation d'un système permanent est recommandée afin d'améliorer les performances du système.

17. Mots clés	18. Diffusion
Positionnement, auto-positionnement, télémètre, laser, navire, écluse	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires imprimés. Disponible également en ligne à www.tc.gc.ca/cdt/menu.htm

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	x, 35, ann.	Port et manutention

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 14559F	5557	

4. Title and Subtitle	5. Publication Date
Développement et essais d'un système de positionnement des navires dans les écluses de la Voie maritime du Saint-Laurent	March 2006
	6. Performing Organization Document No.

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Yan Lévesque	2450-CP-406

9. Performing Organization Name and Address	10. PWGSC File No.
Maritime Innovation 53 St. Germain St. West Rimouski, Quebec G5L 4B4	11. PWGSC or Transport Canada Contract No.

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Publication and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West Suite 600 Montreal, Quebec H3B 1X9	Final
	14. Project Officer André Taschereau

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

Co-sponsored by St. Lawrence Seaway Management Corporation

16. Abstract

This document deals with the development and trials of a vessel self-positioning system for the Saint Lawrence Seaway locks.

A literature search and a study of several companies specializing in measurement and positioning equipment uncovered several promising technologies. Amongst those which would lend themselves best to prototyping, two technologies in particular seem to meet the requirements: the laser range-finder, and image analysis. A laser range-finder device for two dimensional measurement was selected for further testing and rating of performance.

A prototype installed at the Côte Sainte-Catherine lock gathered data during the summer and autumn of 2005 in order to verify the range and precision of this type of instrument under various atmospheric conditions.

The results show that a single measuring device of this type is capable of positioning full-size vessels. A permanent system installation is recommended in order to improve system performance.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Positioning, self-positioning, range-finder, lasers, vessels, locks	Limited number of print copies available from the Transportation Development Centre. Also available online at www.tc.gc.ca/tdc/menu.htm

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	—	x, 35, apps	Shipping/ Handling

SOMMAIRE

Ce développement de prototype et la recherche des technologies qui s'y rattache sont l'aboutissement d'un besoin pour la Corporation de gestion de la Voie maritime du Saint-Laurent de faire l'essai de technologies en mesure d'assister un pilote dans le positionnement de son navire dans les écluses de la Voie maritime. En ce moment, cette fonction est réalisée par un membre du personnel de chacune des écluses. La personne guide le pilote du navire en communiquant avec lui par onde radio à différentes positions préétablies jusqu'à l'arrivée du navire à la position finale dans l'écluse.

Une recherche documentaire et à travers différentes compagnies spécialisées dans les appareils de mesure et de positionnement a fait ressortir six technologies prometteuses. De ces technologies applicables à l'élaboration d'un prototype, deux sont en mesure de respecter les exigences requises : le télémètre laser et l'analyse d'images. L'analyse des avantages et inconvénients de chacune des technologies avancées fait ressortir le télémètre laser comme moyen le plus sécuritaire et efficace pour mesurer la position d'un navire. La version de mesure en deux dimensions d'un télémètre laser a été retenue afin de vérifier et quantifier ses performances.

Un prototype installé à l'écluse de Côte Sainte-Catherine à l'été 2005 a recueilli des données pendant l'automne 2005 afin de vérifier la portée et la précision de ce type d'appareil sous diverses conditions atmosphériques. Le facteur qui influence le plus les performances de ce type d'instrument de mesure est le pouvoir de réémission (réflectivité) de la coque des navires. Le principe de mesure calcule le temps que met la lumière à parcourir la distance séparant l'appareil d'un obstacle. La lumière est envoyée par une diode laser pour ensuite revenir vers l'appareil après avoir réfléchi sur l'obstacle. Cette puissance de réémission de la lumière d'un objet est appelée aussi réflectivité et varie selon la couleur de l'objet. Plus la couleur de l'objet est foncée ou tend vers le noir, plus sa réflectivité sera faible, ce qui diminue la portée de l'appareil.

Les résultats démontrent qu'une unité de ce type d'appareil est en mesure de positionner les navires pleine grandeur. L'installation d'un système permanent est recommandée afin d'améliorer les performances du système.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 1
1.1 Contexte 1
1.2 Objectifs 1
1.3 Étendue de l'étude 2
1.4 Disposition des lieux 2
1.5 Méthode d'éclusage 3
2 RECHERCHE DE SOLUTIONS 5
2.1 Exigences 5
2.2 Revue des technologies 6
2.2.1 Télémètre laser 6
2.2.2 Analyse d'images 8
2.2.3 Système d'identification automatique (SIA) 9
2.2.4 Barrière infrarouge 10
2.2.5 Échosondeur 10
2.2.6 RADAR 11
2.3 Méthode de communication 11
2.3.1 Panneau d'affichage 11
2.3.2 Transmission audio 11
2.4 Choix de la technologie 12
2.5 Méthodologie des essais 13
3 PROTOTYPE 15
3.1 Description du prototype 15
3.1.1 Appareil de mesure 15
3.1.2 Système de détection extérieur 17
3.1.3 Alimentation électrique 18
3.1.4 Système de contrôle 18
3.1.5 Méthodes de communication de la distance 19
3.2 Description du logiciel 20
3.2.1 Onglet affichage 20
3.2.2 Onglet configuration 21
3.2.3 Onglets initialisation et vérification 22
4 ESSAIS 23
4.1 Description des essais 23
4.1.1 Objectif 23
4.1.2 Chronologie des essais 23
4.1.3 Traitement des données 23
4.2 Résultats et analyse 24
4.2.1 Position de l'appareil 24
4.2.2 Portée de l'appareil 25
5 CONCLUSIONS 29
6 RECOMMANDATIONS 33
BIBLIOGRAPHIE 35
ANNEXE A – Photographies de l'écluse de Côte Sainte-Catherine A-1
ANNEXE B – Photographies du prototype B-1
ANNEXE C – LMS 211-30206 Description technique C-1

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Dimensions d'une écluse 2
Figure 2 – Écluse de Côte Sainte-Catherine 3
Figure 3 – Méthode d'éclusage 3
Figure 4 – Télémètre laser 6
Figure 5 – Miroir rotatif du LMS 7
Figure 6 – Coordonnées sphériques 7
Figure 7 – Nuage de points 8
Figure 8 – Soustraction d'images 9
Figure 9 – LMS 211 15
Figure 10 – Ouverture angulaire 15
Figure 11 – Réflectivité 16
Figure 12 – Relation entre la réflectivité et la portée 16
Figure 13 – Portée dans le brouillard 16
Figure 14 – Détection extérieure 17
Figure 15 – Schéma d'alimentation électrique 18
Figure 16 – Schéma du système de contrôle 18
Figure 17 – Schéma de communication 19
Figure 18 – Onglet affichage 20
Figure 19 – Onglet configuration 21
Figure 20 – Onglet initialisation 22
Figure 21 – Position de l'appareil 24
Figure 22 – Proportion des navires selon leur distance de détection 25
Figure 23 – Distances de détection 27
Figure 24 – Navire avec ligne blanche 29
Figure 25 – Exemples de navires détectables de 20 à 35 mètres 31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Exigences 5

Tableau 2 – Associations avec les exigences 12

Tableau 3 – Avantages et désavantages 13

Tableau 4 – Précision de la mesure 17

Tableau 5 – Configuration 21

Tableau 6 – Résultats 26

GLOSSAIRE

CGVMSL	Corporation de gestion de la Voie maritime du Saint-Laurent
DGPS	Système de positionnement global différentiel (*Differential Global Positioning System*)
GPS	Système de positionnement global (*Global Positioning System*)
IMAR	Innovation maritime
LMS	Laser Measurement System (Télémètre 2-D), aussi appelé scanner laser
RADAR	Détection et télémétrie par radioélectricité (*RAdio Detecting And Ranging*)
SIA	Système d'identification automatique (*Automated Identification System*)

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

La Voie maritime du Saint-Laurent dessert des navires pouvant atteindre jusqu'à 225,5 mètres de longueur en leur permettant de transiter entre le fleuve Saint-Laurent et les Grands Lacs. De Montréal jusqu'au Lac Érié, le réseau d'écluses canadiennes comprend 13 écluses de 233,5 mètres de longueur par 24,4 mètres de largeur.

Traditionnellement, les capitaines et les pilotes se fient à leurs observations visuelles et aux confirmations verbales des distances données par les éclusiers pour manœuvrer les navires dans les écluses. Ces éléments d'information, combinés à une longue expérience de la façon dont le navire doit être ralenti pour s'immobiliser en toute sécurité en position d'amarrage, sont essentiels à l'intégrité des navires et de la structure de l'écluse.

L'expérience et l'information visuelle demeureront toujours à la base d'un transit sécuritaire dans une écluse, mais des technologies d'appoint peuvent améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations des écluses, en dotant les marins et le personnel des écluses d'outils supplémentaires qui leur permettront de prendre des décisions mieux éclairées et de gagner du temps.

1.2 Objectifs

Ce projet a pour principaux objectifs de développer, déployer et mettre à l'essai un système de capteurs et de technologies de communication adaptés à la configuration et aux procédures des écluses de la Voie maritime du Saint-Laurent.

Le projet contribue aux objectifs suivants de la Voie maritime du Saint-Laurent :

- Offrir un réseau de voies navigables sécuritaire et fiable : une plus grande précision dans la mesure des distances et un risque réduit de signaux confus se traduiront par des transits plus sécuritaires. De plus, l'éclusier, ainsi dégagé des tâches d'évaluation des distances, aura plus de temps à consacrer à la sécurité, ce qui accroîtra la sécurité des opérations dans les écluses.

- Offrir un réseau de voies navigables économique : la Corporation de gestion de la Voie maritime du Saint-Laurent (CGVMSL) tirera des avantages de transits plus courts et d'une diminution de ses coûts d'exploitation.

- Offrir un réseau de voies navigables écologique : la réduction du temps de fonctionnement et de marche au ralenti des moteurs entraînera une diminution des émissions atmosphériques des navires dans l'environnement des écluses, qui sont souvent situées à proximité de zones densément peuplées.

- Répondre aux besoins de transport des clients : chaque minute perdue augmente le coût de la navigation commerciale, surtout si l'on tient compte des taux élevés d'affrètement à temps actuellement pratiqués sur le marché du vrac. Ainsi, la réduction des temps de passage bénéficiera clairement aux compagnies maritimes.

La CGVMSL s'intéresse vivement au développement de ce système. S'il s'avère efficace et économique, la CGVMSL envisagera d'équiper chaque écluse canadienne d'un système semblable.

La séquence de développement comprend une recherche de technologies qui sont en mesure d'effectuer un positionnement efficace. Ces technologies sont comparées ensemble et classées selon les exigences de la CGVMSL. Une évaluation quantitative de chacune des technologies doit faire ressortir la plus prometteuse. À partir de ces résultats, le développement d'un prototype vient confirmer les performances théoriques et les points à améliorer.

1.3 Étendue de l'étude

Cette étude vise l'élaboration d'un prototype fonctionnel installé à une écluse qui permettra à l'éclusier chargé du positionnement des navires de comparer la position réelle à celle transmise automatiquement à l'aide d'un panneau d'affichage extérieur lumineux et d'enregistrement audio. Les performances envisagées sont que l'appareil respecte une précision minimale établie avec la CGVMSL en présence de conditions atmosphériques favorables, où la visibilité est bonne, et en absence d'intempéries. Par la suite, faire l'analyse des facteurs influençant la précision du prototype, telle que la pluie et la neige, et trouver les moyens de les corriger.

1.4 Disposition des lieux

Les écluses de la Voie maritime ont des indicateurs de distances afin de positionner le navire avant un changement d'élévation du niveau d'eau. Les divisions sur place consistent en deux lignes d'arrêt (S pour STOP) de chaque côté suivi de divisions notées en mètres se rejoignant jusqu'à une ligne de centre (Figure 1).

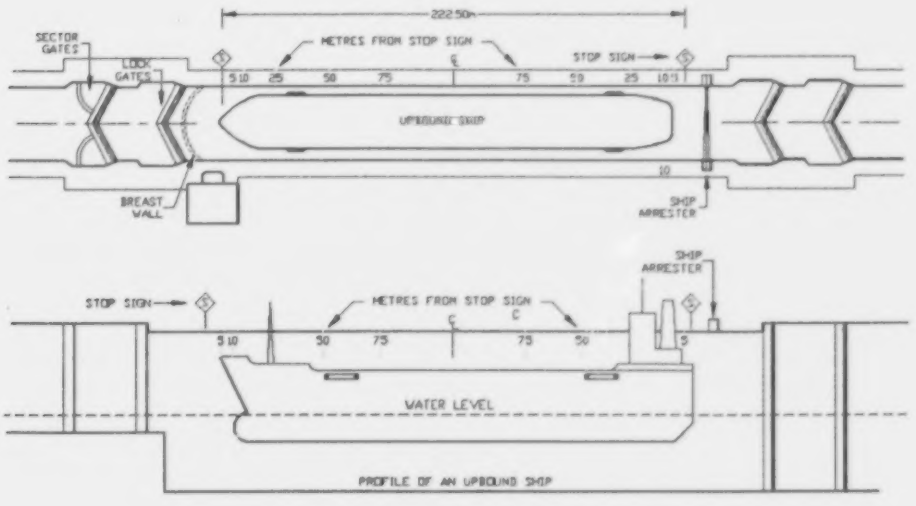


Figure 1 – Dimensions d'une écluse

La différence d'élévation entre le niveau bas et le niveau haut de l'eau est variable selon l'écluse. La Figure 2 montre l'écluse de Côte Sainte-Catherine à son niveau le plus bas, environ 9 mètres en dessous de son niveau le plus élevé.

Figure 2 – Écluse de Côte Sainte-Catherine

1.5 Méthode d'éclusage

Les navires demeurent sous leur propre pouvoir pendant l'éclusage et une équipe spécialisée de la CGVMSL amarre chaque navire dans le sas. Lorsque le navire est immobilisé, d'immenses portes d'acier se referment derrière lui et les vannes sont actionnées pour le remplissage ou le vidage, opérations effectuées par gravité, tel qu'illustré à la Figure 3.

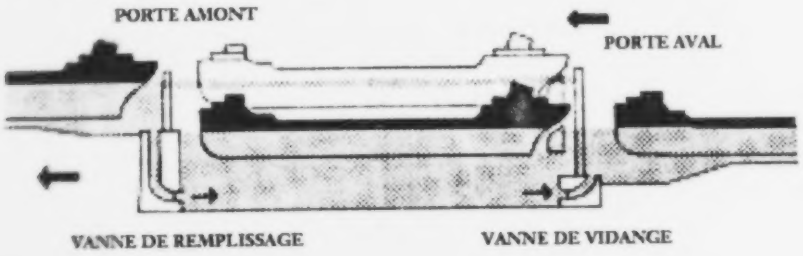


Figure 3 – Méthode d'éclusage

Le remplissage d'une écluse dure à peu près 11 minutes. Dès que le niveau désiré est atteint, les portes avant s'ouvrent et, sur un signal du positionneur, le navire émet un bref coup de sirène, largue les amarres et sort de l'écluse. Quelque 32 navires pourraient y être éclusés pendant une journée d'activité intense.

Les navires qui arrivent à la porte aval pour se rendre à la porte amont sont nommés : navires montants. Les navires qui empruntent l'écluse à l'inverse sont nommés : navires descendants.

2 RECHERCHE DE SOLUTIONS

2.1 Exigences

Les besoins de la CGVMSL sont qu'un système puisse répondre aux exigences énoncées au Tableau 1, soit en développant un appareil sur mesure ou en intégrant ensemble des appareils déjà disponibles sur le marché.

Tableau 1 – Exigences

1	La position à transmettre correspond à la distance entre la ligne d'arrêt et le point hors de l'eau situé le plus en avant d'un navire.
2	Aucune modification aux navires.
3	Température de fonctionnement de -25°C à +35°C.
4	Appareil doit être à l'abri des glaces.
5	Aucune influence des conditions extérieures (exemples : pluie, neige, brouillard)
6	Précision contrôlée par la CGVMSL.
7	Taux de rafraîchissement de la position à la seconde.
8	Précision progressive de ± 1 mètre à la ligne centrale jusqu'à 0,03 mètre à la ligne d'arrêt.
9	Aucune modification aux portes de l'écluse.
10	Message clair envoyé à l'usager.
11	Mesure stable dans le temps.
12	Portée du système de la distance 0 mètre (ligne d'arrêt) à la distance 110 mètres (la ligne centrale).
13	Qualité industrielle de fabrication et d'assemblage.
14	Entretien minimal
15	Coûts à minimiser

La sécurité et la santé des usagés, du personnel de la CGVMSL et de toutes autres personnes demeurent une partie intégrante de tous les systèmes pouvant servir de système d'auto-positionnement.

2.2 Revue des technologies

Une recherche documentaire et à travers différentes compagnies offrant des systèmes de mesure a fait ressortir six technologies dont deux peuvent être utilisées :

1. Le télémètre laser
2. L'analyse d'images

Quatre autres technologies ont été étudiées avant de conclure à leur inadmissibilité en tant que système d'auto-positionnement :

3. Le système SIA, ou l'abréviation AIS en anglais
4. Les barrières infrarouges
5. L'échosondeur
6. RADAR

2.2.1 Télémètre laser

Le choix d'un modèle de télémètre doit utiliser une diode laser de classe 1. Les lasers de cette classe sont intrinsèquement inoffensifs, même lors d'erreurs de manipulation (ou de l'emploi de moyens optiques). Conséquemment, ils sont sans danger pour les yeux ou toute autre partie du corps.

Un télémètre laser (voir Figure 4) émet une impulsion lumineuse très courte (un tir) à l'aide d'une diode laser; simultanément une horloge est démarrée. Cette impulsion lumineuse sera renvoyée partiellement par le premier obstacle rencontré sur son chemin. La distance entre le capteur et l'objet cible est directement proportionnelle au temps mis par l'impulsion pour parcourir la distance capteur-objet puis objet-capteur.

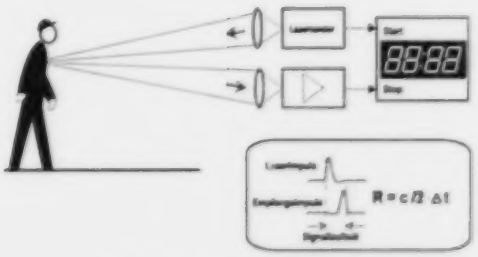
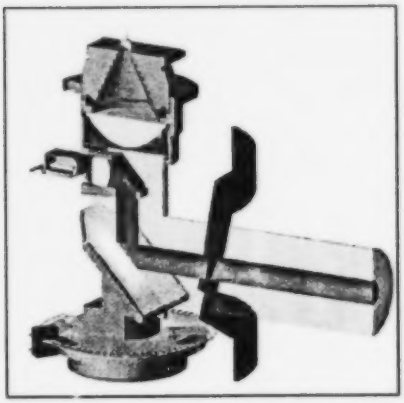
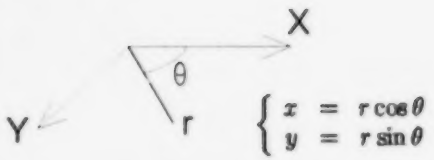


Figure 4 – Télémètre laser

Cette solution est en mesure d'être retenue en modifiant la façon de se servir d'un télémètre. Un *Laser Measurement System* (LMS) émet un faisceau lumineux qui est dévié par un miroir rotatif, permettant ainsi de balayer un plan sur 360° (Figure 5). Connaissant la position angulaire du miroir et ainsi du «tir», on peut calculer la position exacte de l'objet dans un plan en coordonnées polaires.

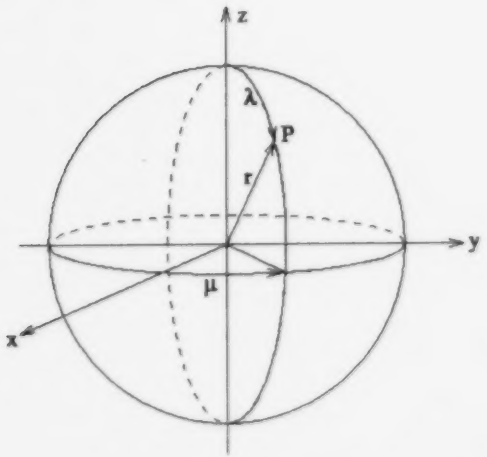




Coordonnées polaires

Figure 5 – Miroir rotatif du LMS

Pour être en mesure d'obtenir une troisième dimension, il faut mettre en rotation le plan scruté par le LMS sur un de ses axes afin de scruter l'environnement de bas en haut. Le LMS à lui seul calcule la position d'un objet selon des coordonnées polaires (r,μ). En combinant un autre axe de rotation, autour de l'axe des Y (angle λ) sur la Figure 6, il est possible de calculer la position de l'objet détecté (P) selon des coordonnées sphériques. Par la suite, à l'aide d'équations mathématiques, ces coordonnées sont transformées en coordonnées cartésiennes X,Y,Z.



$$\begin{cases} x = r\sin\lambda\cos\mu \\ y = r\sin\lambda\sin\mu \\ z = r\cos\lambda \end{cases}$$

Figure 6 – Coordonnées sphériques

Le résultat de ce principe consiste en un nuage de point représentant l'avant d'un navire (Figure 7). De ce nuage de point, la distance entre la ligne d'arrêt et la partie le plus en avant est calculée.

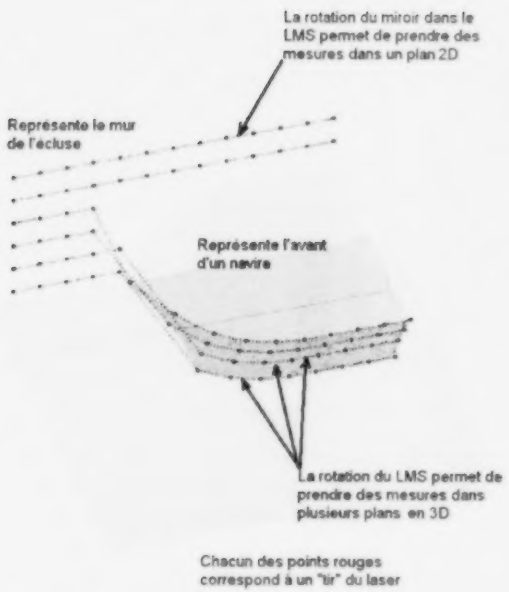


Figure 7 – Nuage de points

2.2.2 Analyse d'images

Une image numérique est constituée de plusieurs pixels de forme carrée de différentes couleurs. Il est possible d'analyser mathématiquement cet assemblage de pixels pour en retirer de l'information. La programmation d'algorithmes et leur mise en commun dans un logiciel permettent entre autres de détecter les pixels qui ont changé de couleur entre deux images prises au même endroit (Figure 8). La comparaison de plusieurs images successives permet de quantifier l'évolution de ces changements dans le temps.

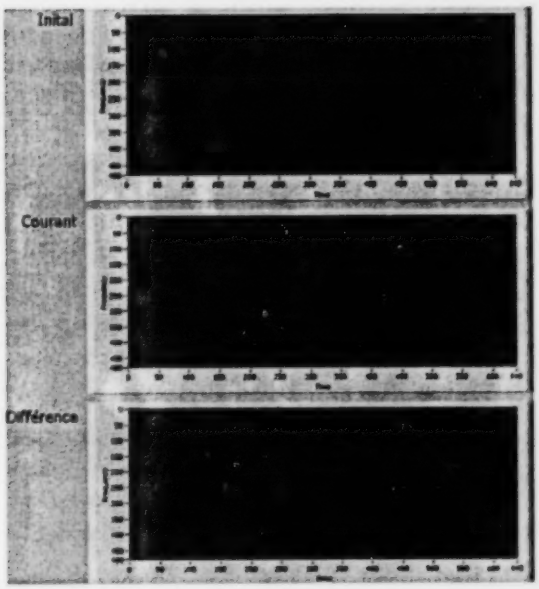


Figure 8 – Soustraction d'images

Des caméras sont positionnées de sorte à filmer l'écluse perpendiculairement à sa longueur. L'image ainsi acquise est ensuite traitée avec un logiciel spécialement conçu pour observer et quantifier le déplacement du navire. Les algorithmes utilisés par le logiciel analysent chaque pixel de l'image et peuvent ainsi détecter le navire par le changement de couleur des pixels à l'écran selon un seuil préétabli. Ce seuil permet de filtrer les éléments indésirables pouvant interférer dans le traitement de l'image. Par conséquent, seulement les objets de grande taille (les navires) seront identifiés comme cibles à traiter. Une fois la cible identifiée, le logiciel continue à suivre les changements de couleur de chaque pixel de l'image et ainsi calcule le déplacement du navire dans chacune des images filmées par la caméra.

2.2.3 Système d'identification automatique (SIA)

Le système GPS permet de calculer la position tridimensionnelle (latitude, longitude et altitude) d'un utilisateur, de manière continue et instantanée, en tout endroit sur Terre. Lorsqu'un récepteur GPS est mobile, sa vitesse et la direction de son mouvement peuvent être également déterminées. Le système GPS comprend 3 composantes principales : i) la composante spatiale constituée de 24 satellites en orbite autour de la Terre, ii) la composante de contrôle formée de stations de poursuite au sol, et iii) la composante usager qui comprend les récepteurs.

La composante usager comprend les récepteurs utilisés pour se positionner. Ces récepteurs passifs ne font que recevoir les signaux transmis par les satellites GPS. Ils ont pour fonctions de mesurer des distances entre l'antenne réceptrice et les satellites-émetteurs, de décoder les messages radiodiffusés qui contiennent les éphémérides

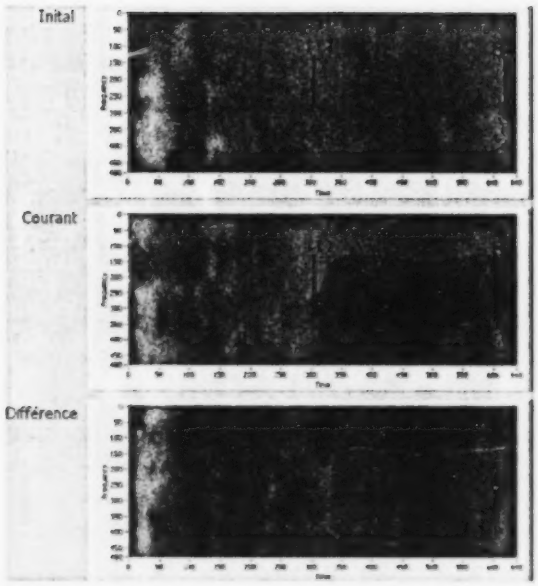


Figure 8 – Soustraction d'images

Des caméras sont positionnées de sorte à filmer l'écluse perpendiculairement à sa longueur. L'image ainsi acquise est ensuite traitée avec un logiciel spécialement conçu pour observer et quantifier le déplacement du navire. Les algorithmes utilisés par le logiciel analysent chaque pixel de l'image et peuvent ainsi détecter le navire par le changement de couleur des pixels à l'écran selon un seuil préétabli. Ce seuil permet de filtrer les éléments indésirables pouvant interférer dans le traitement de l'image. Par conséquent, seulement les objets de grande taille (les navires) seront identifiés comme cibles à traiter. Une fois la cible identifiée, le logiciel continue à suivre les changements de couleur de chaque pixel de l'image et ainsi calcule le déplacement du navire dans chacune des images filmées par la caméra.

2.2.3 Système d'identification automatique (SIA)

Le système GPS permet de calculer la position tridimensionnelle (latitude, longitude et altitude) d'un utilisateur, de manière continue et instantanée, en tout endroit sur Terre. Lorsqu'un récepteur GPS est mobile, sa vitesse et la direction de son mouvement peuvent être également déterminées. Le système GPS comprend 3 composantes principales : i) la composante spatiale constituée de 24 satellites en orbite autour de la Terre, ii) la composante de contrôle formée de stations de poursuite au sol, et iii) la composante usager qui comprend les récepteurs.

La composante usager comprend les récepteurs utilisés pour se positionner. Ces récepteurs passifs ne font que recevoir les signaux transmis par les satellites GPS. Ils ont pour fonctions de mesurer des distances entre l'antenne réceptrice et les satellites-émetteurs, de décoder les messages radiodiffusés qui contiennent les éphémérides

(calculées par les stations au sol) servant aux calculs de la position des satellites au temps d'observations, et de calculer la position de l'utilisateur.

Le système DGPS se sert d'émetteurs situés sur des points géodésiques connus afin de corriger partiellement les erreurs aléatoires et de multitrajets (les pseudodistances) du système GPS. Pour les navires, c'est le système SIA qui transmet ensuite cette information aux autres récepteurs.

Le délai entre deux réceptions du système SIA est de dix secondes quand la vitesse du navire se situe entre 0 et 14 noeuds. Durant cette période, la position exacte du navire est inconnue. Il y a aussi possibilité de perdre le signal pendant plus de dix secondes.

La position de l'antenne DGPS est recensée par l'installateur du système SIA. Les références de la position de l'antenne sont les côtés, le point le plus en avant et le plus en arrière des navires. Cependant, il n'y a aucun moyen accessible pour la CGVMSL de confirmer ces dimensions avant l'arrivée du navire dans l'écluse. En cas d'erreur, la distance affichée au navire pourrait être erronée sans que personne ne puisse s'en apercevoir.

2.2.4 Barrière infrarouge

Une barrière infrarouge est constituée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par un faisceau infrarouge. Un obstacle peut être détecté lorsqu'il se présente entre le récepteur et l'émetteur et qu'il obstrue la réception du faisceau infrarouge.

L'utilisation de cet appareil dans une écluse nécessiterait l'installation de nombreux système émetteur-récepteur intégré dans les parois de l'écluse. La résolution dépend directement du nombre d'appareils installés. De plus, des appareils installés dans les murs de l'écluse les rendent vulnérables aux collisions avec un obstacle quelconque ou par les glaces.

2.2.5 Échosondeur

Le principe est une onde qui est envoyée à une certaine fréquence, l'échosondeur attend le retour de l'onde envoyée qui touche un obstacle (rebondit dessus), calcule le temps qui s'est écoulé entre l'envoi et le retour (écho) et détermine ainsi la distance entre la sonde qui a envoyé le signal et l'obstacle. En faisant également une analyse de l'atténuation du signal envoyé, l'appareil est en mesure de déterminer la nature de l'obstacle.

En additionnant les facteurs influençant la technique de l'échosondage, l'utilisation à l'horizontal dans un corridor étroit en béton afin de mesurer la distance d'une coque de navire, qui peut être en plus de forme triangulaire, a pour effet de faire rebondir les ondes dans tous les sens et les rend difficiles à analyser. De plus, ce type d'appareil doit être installé sur les portes de l'écluse et devient très sensible aux collisions avec les glaces.

2.2.6 RADAR

Le RADAR propage des pulsations électromagnétiques (RF) dans l'air à la vitesse de la lumière (300,000 km/seconde). La pulsation est réfléchie par un objet et revient comme écho. Le RADAR détermine ainsi l'éloignement de la cible en mesurant le temps écoulé entre l'émission de la pulsation et le retour de l'écho. Le relèvement de la cible détectée est déterminé par la direction vers laquelle pointe l'antenne du radar lorsqu'elle émet l'impulsion.

Aucun RADAR n'existe actuellement sur le marché qui permettrait la détection d'un navire à de courtes distances avec la précision souhaitée. Le développement de cette technologie dans l'application présentée s'avérerait un processus dispendieux aux résultats incertains.

2.3 Méthode de communication

2.3.1 Panneau d'affichage

L'installation d'un panneau d'affichage électronique lumineux permet au capitaine/pilote du navire de recevoir l'information en temps réel de la distance entre la partie la plus en avant de son navire et un endroit prédéterminé (la ligne d'arrêt par exemple) donné par le système de mesures. Ce système affiche un «langage» mathématique universel peu importe la langue de la personne le consultant.

2.3.2 Transmission audio

L'utilisation d'un émetteur VHF pour communiquer au capitaine/pilote est possible en émettant des messages préenregistrés pour certaines distances préétablies. Ce type de système permet seulement à l'information de parvenir au navire une fois la distance préétablie atteinte. De plus, il est difficile d'y inclure une grande précision puisqu'il s'agit d'un message audio, plus grande sera la précision et plus long sera le message.

2.4 Choix de la technologie

Premièrement, les exigences ont été reprises et associées avec les deux technologies les plus prometteuses (Tableau 2). Un crochet (√) signifie que la technologie répond à l'exigence.

Tableau 2 – Associations avec les exigences

	Exigences	LMS	Analyse d'images
1	La position à transmettre correspond à la distance entre la ligne d'arrêt et le point hors de l'eau situé le plus en avant d'un navire.	√	√
2	Aucune modification aux navires.	√	√
3	Température de fonctionnement de -25°C à +35°C.	√	√
4	Appareil doit être à l'abri des glaces.	√	√
5	Aucune influence des conditions extérieures (Exemples : pluie, neige, brouillard)	Filtrage par programmation à faire	Filtrage par programmation à faire
6	Précision contrôlée par la CGVMSL.	√	√
7	Taux de rafraîchissement de la position à la seconde.	√	√
8	Précision progressive de ± 1 mètre à la ligne centrale jusqu'à 0,03 mètre à la ligne d'arrêt.	Portée limitée. Plusieurs unités requises pour atteindre la ligne centrale	À déterminer
9	Aucune modification aux portes de l'écluse.	√	√
10	Message clair envoyé à l'usager.	Avec panneau d'affichage et transmission audio	Avec panneau d'affichage et transmission audio
11	Mesure stable dans le temps.	√	√
12	Portée du système de la distance 0 mètre (ligne d'arrêt) à la distance 110 mètres (la ligne centrale).	Portée limitée. Plusieurs unités requises pour atteindre la ligne centrale	À déterminer
13	Qualité industrielle de fabrication et d'assemblage.	√	√
14	Entretien minimal.	√	√
15	Coûts à minimiser.	Moins dispendieux, logiciel à adapter	Plus dispendieux, logiciel à concevoir

Deuxièmement, les avantages (A) et inconvénients (I) communs aux deux technologies sont présentés au début du Tableau 3 et présentés individuellement par la suite.

Tableau 3 – Avantages et désavantages

LMS	Analyse d'images
Mesure sans contact (A)	
Temps de scrutation rapide permettant la mesure d'objet en mouvement (A)	
Mesure d'objets dans n'importe quelle position (A)	
Ne perturbe pas l'accès à la Voie maritime pendant l'installation (A)	
Précision acceptable à la ligne d'arrêt (A)	
Sécuritaire pour les usagers et le personnel (laser classe 1 ou prise d'image) (A)	
Pas de réflecteur nécessaire (A)	
Localise le point le plus avancé du navire en tout temps (A)	
Besoin d'un programme pour filtrer les objets qui n'appartiennent pas au navire et pour filtrer les mauvaises conditions atmosphériques (exemples : pluie, brouillard, neige) (I)	
Mesure avec contact réel de la lumière sur un obstacle (A)	Mesure virtuelle interprétée par ordinateur (I)
Portée de 25 mètres par unité (I)	Portée selon la résolution de la caméra (à vérifier)
Aucun éclairage n'est requis (A)	Éclairage requis la nuit (I)
Insensible aux variations de l'intensité lumineuse (A)	Sensible aux variations de l'intensité lumineuse (I)
L'arrière-plan n'a pas d'influence (A)	L'arrière-plan doit être filtré par un logiciel (I)

Après la compilation des avantages et inconvénients de chacun, le choix s'arrête sur le LMS pour l'élaboration d'un prototype d'auto-positionnement des navires dans les écluses de la Voie maritime. Les chances de réussite sont aussi plus élevées avec la technologie utilisée par le LMS puisqu'il existe déjà des logiciels pour ce type d'appareil. De plus, d'autres écluses, telles que celles du Canal de Panama, utilisent cette technologie dans leurs installations à la différence qu'ils n'utilisent que la fonction deux dimensions.

2.5 Méthodologie des essais

1. Fabriquer à partir d'un LMS un prototype d'un système qui permet un balayage en trois dimensions.
2. Positionner le système de balayage le long d'une écluse afin de mesurer la distance qui sépare la ligne d'arrêt des navires en transit.
3. Vérifier que la position du système le long de l'écluse est optimale.
4. Vérifier la précision de la mesure.
5. Quantifier le pouvoir de réémission de la lumière (réflectivité) des coques des navires.
6. Vérifier les facteurs nuisibles aux mesures faites par le LMS (exemples : pluie, neige, brouillard, etc.)

3 PROTOTYPE

3.1 Description du prototype

Le système se divise en cinq parties :

1. L'appareil de mesure
2. Le système de détection extérieure
3. L'alimentation électrique
4. Le système de contrôle
5. Les moyens de communication de la distance

3.1.1 Appareil de mesure

L'élément de base du système est le LMS. La compagnie SICK® présente un produit répondant le mieux aux exigences requises. Le LMS 211 (Figure 9) est conçu spécifiquement pour l'utilisation à l'extérieur et est caractérisé par un axe de rotation qui permet de recevoir des coordonnées polaires angle-distance d'un obstacle dans son champ de détection. L'ouverture angulaire est de 100 degrés (Figure 10) et la portée théorique varie jusqu'à un maximum de 80 mètres. La Figure 12 présente la portée de l'appareil selon la réflectivité de l'objet détecté (Figure 11). De plus, la Figure 13 présente le même graphique qu'à la Figure 12 mais en présence de brouillard.

Figure 9 – LMS 211

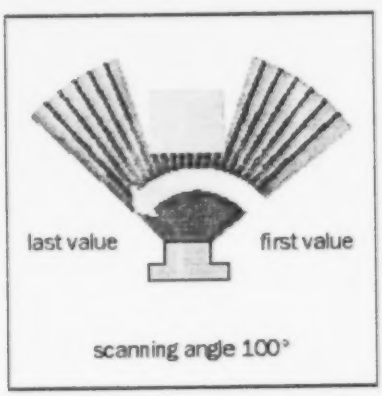
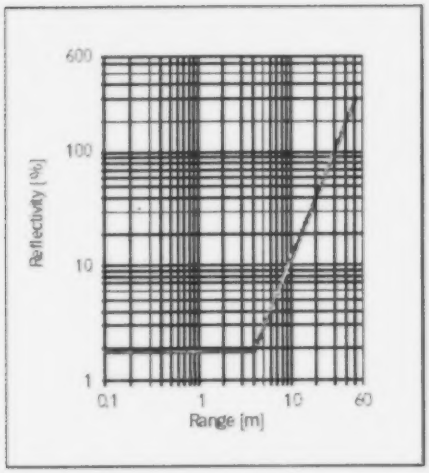


Figure 10 – Ouverture angulaire



Material	Reflectivity
Cardboard, matt black	10%
Cardboard, grey	20%
Wood (raw pine, dirty)	40%
PVC, grey	50%
Paper, matt white	80%
Aluminium, anodised, black	110...150%
Steel, rust-free shiny	120...150%
Steel, very shiny	140...200%
Reflectors	> 2000%

Figure 11 – Réflectivité

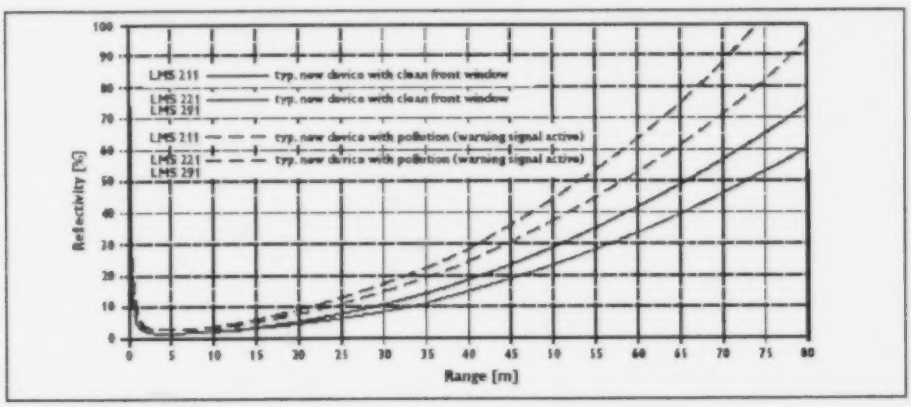


Figure 12 – Relation entre la réflectivité et la portée

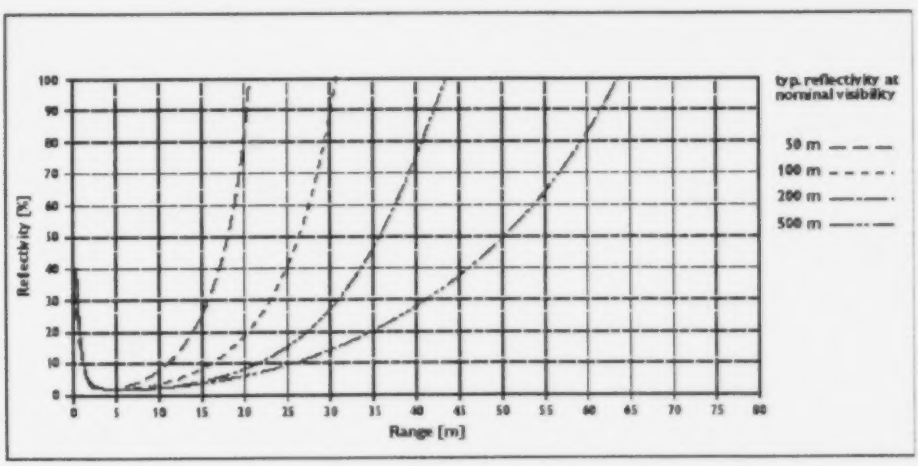


Figure 13 – Portée dans le brouillard

L'information sur la précision de la mesure est présentée au Tableau 4 :

Tableau 4 – Précision de la mesure

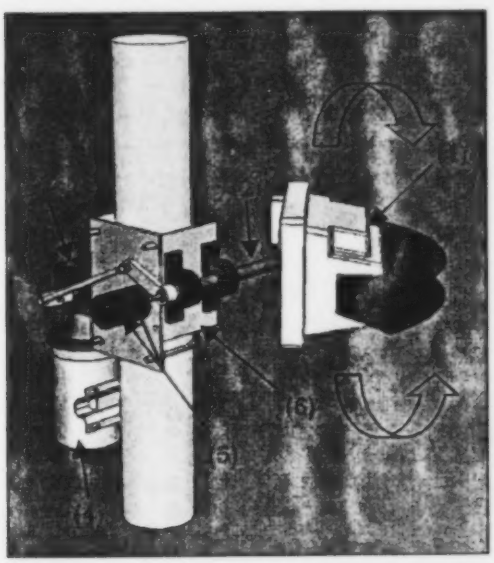
Résolution de la mesure	10 mm
Erreur du système (conditions environnementales : Bonne visibilité, Ta=23°C, réflectivité 10 %...10,000 %)	typ. ± 35 mm (mm-mode), intervalle 1...20 m typ. ± 5 cm (cm-mode), intervalle 1...20 m
Déviation standard, erreur statistique (1 sigma)	typ. 10 mm (mm-mode) (intervalle 1...20 m/ ≥ 10 % réflectivité/ ≤ 5 kLux)

(Voir Annexe C pour plus de détails)

La résolution angulaire entre deux mesures consécutives et indépendantes peut être sélectionnées entre 1°, 0.5°, ou 0.25°. Une résolution à 0.5° correspond à une distance de 0,7 mètre entre deux mesures consécutives sur un objet au centre d'une écluse, à 75 mètres de distance de l'unité LMS. À la ligne d'arrêt, cette distance diminue à 0,13 mètre.

3.1.2 Système de détection extérieur

Les composants suivants sont nécessaires au fonctionnement du système. Une diode laser montée sur l'arbre de sortie d'un moteur est située dans un LMS (voir Figure 14) et tourne sur elle-même pour permettre de numériser un objet dans un plan. Un second axe de rotation permet de faire basculer le LMS de bas en haut afin de créer une numérisation en trois dimensions. L'arbre de rotation doit être positionné au niveau et aligné selon le bord de l'écluse.



LMS 211 (1)	Permet de scruter l'espace dans un plan.
Arbre de rotation (2)	Actionné par un moteur, permet au LMS de balayer l'espace de bas en haut.
Boîte de réduction (3)	Combiné au moteur, permet d'atteindre le couple et la vitesse spécifiée.
Moteur (4)	Fournit la puissance au système de balayage.
Capteur de position (5)	Transmet au système de contrôle l'angle de l'arbre de rotation.
Support (6)	Maintient les éléments en place.

Figure 14 – Détection extérieure

L'information sur la précision de la mesure est présentée au Tableau 4 :

Tableau 4 – Précision de la mesure

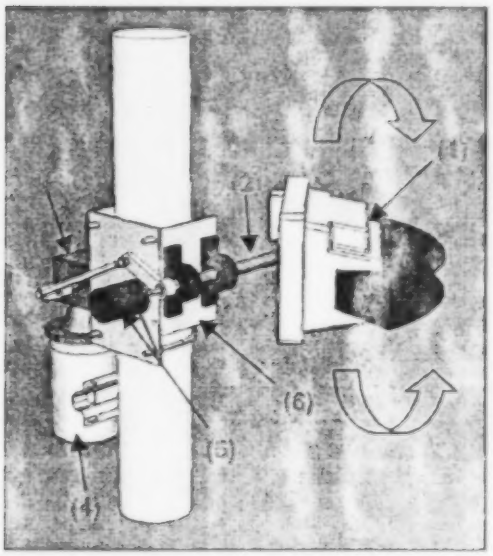
Résolution de la mesure	10 mm
Erreur du système (conditions environnementales : Bonne visibilité, Ta=23°C, réflectivité 10 %...10,000 %)	typ. ± 35 mm (mm-mode), intervalle 1...20 m typ. ± 5 cm (cm-mode), intervalle 1...20 m
Déviation standard, erreur statistique (1 sigma)	typ. 10 mm (mm-mode) (intervalle 1...20 m/ ≥ 10 % réflectivité/ ≤ 5 kLux)

(Voir Annexe C pour plus de détails)

La résolution angulaire entre deux mesures consécutives et indépendantes peut être sélectionnées entre 1°, 0.5°, ou 0.25°. Une résolution à 0.5° correspond à une distance de 0,7 mètre entre deux mesures consécutives sur un objet au centre d'une écluse, à 75 mètres de distance de l'unité LMS. À la ligne d'arrêt, cette distance diminue à 0,13 mètre.

3.1.2 Système de détection extérieur

Les composants suivants sont nécessaires au fonctionnement du système. Une diode laser montée sur l'arbre de sortie d'un moteur est située dans un LMS (voir Figure 14) et tourne sur elle-même pour permettre de numériser un objet dans un plan. Un second axe de rotation permet de faire basculer le LMS de bas en haut afin de créer une numérisation en trois dimensions. L'arbre de rotation doit être positionné au niveau et aligné selon le bord de l'écluse.



LMS 211 (1)	Permet de scruter l'espace dans un plan.
Arbre de rotation (2)	Actionné par un moteur, permet au LMS de balayer l'espace de bas en haut.
Boîte de réduction (3)	Combiné au moteur, permet d'atteindre le couple et la vitesse spécifiée.
Moteur (4)	Fournit la puissance au système de balayage.
Capteur de position (5)	Transmet au système de contrôle l'angle de l'arbre de rotation.
Support (6)	Maintient les éléments en place.

Figure 14 – Détection extérieure

3.1.3 Alimentation électrique

Cette partie se compose entre autres d'une alimentation électrique de 120 VCA (voir Figure 15), d'une source de tension 24 VCC et d'un relais afin d'alimenter deux parties du scanneur laser : la combinaison diode laser et moteur interne contrôlé par le relais ainsi qu'un élément chauffant alimenté directement. Le relais est contrôlé par un contact sec à l'ordinateur de contrôle qui l'alimente en 120 VCA. Un variateur permet de contrôler la vitesse du moteur de la partie extérieure. Cette dernière est contrôlée directement par l'ordinateur de contrôle. Un filtre est installé entre le variateur et l'alimentation 120 VCA afin de prévenir les interférences émises par le variateur.

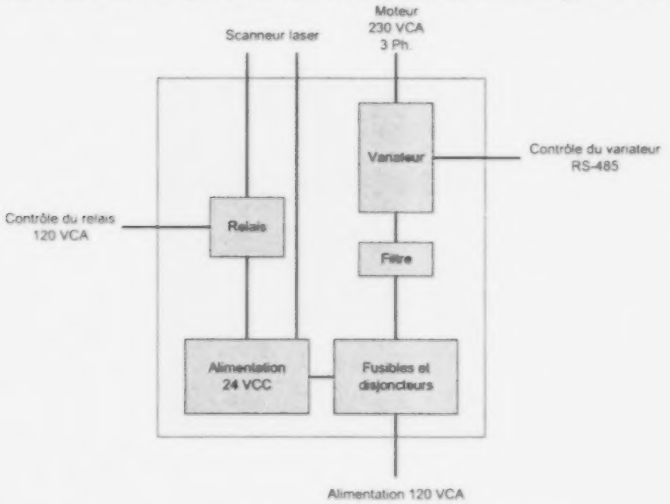


Figure 15 – Schéma d'alimentation électrique

3.1.4 Système de contrôle

Tout le système est contrôlé par un ordinateur équipé d'une carte de communication RS-422/485 (voir Figure 16). Un programme conçu sur mesure permet d'interpréter les données des divers appareils afin de calculer la distance entre le LMS et l'avant d'un navire.

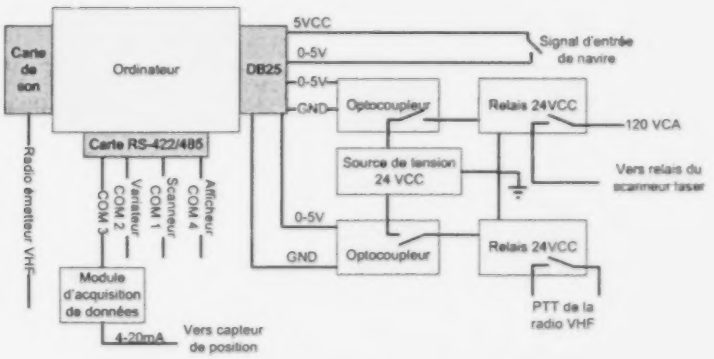


Figure 16 – Schéma du système de contrôle

3.1.5 Méthodes de communication de la distance

La transmission de la donnée est visuelle et auditive. Un panneau d'affichage lumineux de trois chiffres indique la distance calculée par l'ordinateur selon ces modèles :

- Pour les nombres de 100 et plus : 888
- Pour les nombres entre 0.0 et 99.9 : 88.8
- Pour les nombres de -0.1 et moins : -8.8
- En attente : ---

Un émetteur radio VHF (voir Figure 17) utilisant un canal réservé permet de transmettre 6 distances préenregistrées :

- 25 mètres à faire; ou «25 meters to go»
- 10 mètres à faire; ou «10 meters to go»
- 5 mètres à faire; ou «5 meters to go»
- 2 mètres à faire; ou «2 meters to go»
- 1 mètre à faire; ou «1 meter to go»
- En position; ou «In position»

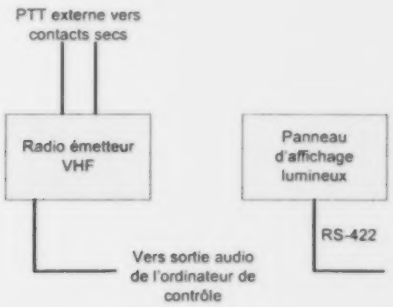


Figure 17 – Schéma de communication

3.2 Description du logiciel

L'interface de l'utilisateur présenté dans cette section sert au développement et au débogage de la programmation du logiciel de contrôle du prototype. Un système de positionnement à la fin de son développement sera en mesure de fonctionner sans l'aide d'interface. L'interface est divisée en quatre onglets.

3.2.1 Onglet affichage

L'interface se présente sous la forme d'un panneau interactif de quatre onglets. L'onglet «Affichage» permet d'afficher l'écluse à l'utilisateur de trois façons différentes, soit la vue en plan, en élévation et de profil (voir Figure 18). L'assemblage de ces trois vues permet d'avoir la représentation du navire en trois dimensions. La distance séparant l'avant du navire et la ligne d'arrêt est affichée en bas au centre. La partie supérieure droite contient trois témoins lumineux qui donnent l'état du système de détection extérieure : en attente, en marche ou en alarme. Le témoin alarme s'allume si un problème survient avec le variateur. La partie inférieure gauche contient : un bouton-poussoir qui simule le signal donné pour l'arrivée d'un navire montant, deux témoins indiquant l'arrivée d'un navire montant ou descendant et un interrupteur activant on non un algorithme de filtrage. Ce filtre permet de ne pas tenir compte de points qui ne proviendraient pas du navire. Le programme demeure en veille tant qu'il ne reçoit pas de signal de l'arrivée d'un navire (verte) montant ou descendant. Un bouton «STOP» dans le coin inférieur droit permet l'arrêt du programme.

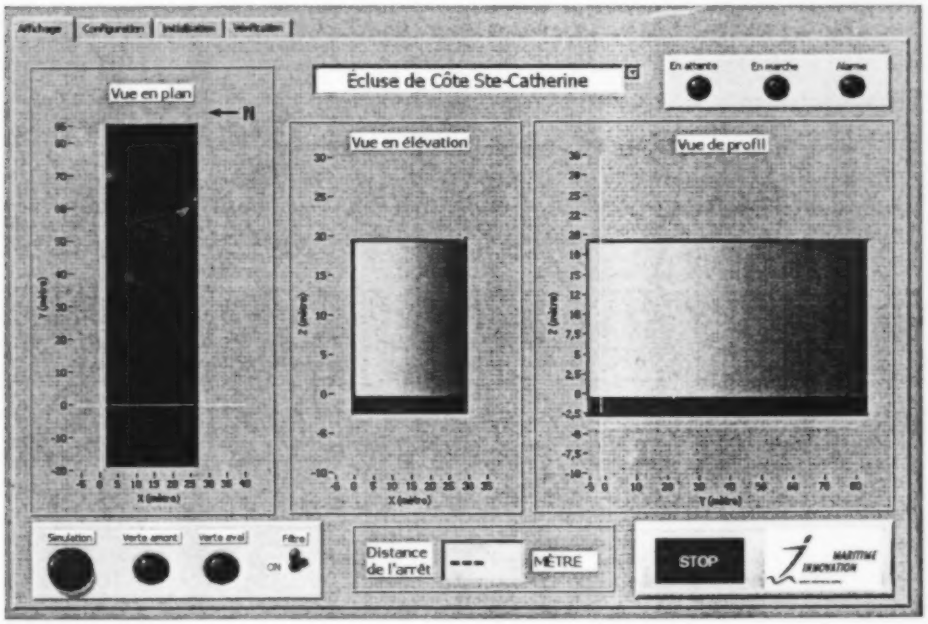


Figure 18 – Onglet affichage

3.2.2 Onglet configuration

L'onglet «Configuration» contient les paramètres d'ajustement pour la détection du navire (voir Tableau 5 et Figure 19).

Tableau 5 – Configuration

X min (cm)	Paramètre du couloir de détection. Distance entre le scanner et le mur de l'écluse le plus près.
X max (cm)	Paramètre du couloir de détection. Distance entre le scanner et le mur de l'écluse le plus éloigné.
Y max (cm)	Paramètre du couloir de détection. Portée du scanner à partir de sa position.
Z min (cm)	Paramètre du couloir de détection. Profondeur de détection dans l'écluse (lié avec le paramètre élévation de base). Doit être ajusté en fonction de laisser une distance libre entre le niveau de l'eau et le début de la détection.
Élévation de base	Correspond à une élévation arbitraire ou réelle du scanner. Il sert de base au paramètre «Z min».
Nombre de scan. Affiché	Fait varier le nombre de points affichés dans les trois (3) fenêtres «Vue» de l'onglet affichage.
Scan. Pour dist. Min.	Correspond au nombre d'éléments inclus dans le vecteur servant à identifier la distance minimale à afficher.
Décalage arrêt (m)	Sert à aligner le zéro du programme avec la ligne d'arrêt de l'écluse. Dépends de la localisation du scanner.
Enregistrement	Permet de conserver les données des transits des navires.
Fichier	Répertoire où sont enregistrées les données des transits des navires.
Panneau	Mise sous et hors tension du panneau d'affichage extérieur.
Limite du panneau	Distance en mètre du début de l'affichage de la distance sur le panneau.
Voix	Transmission ou non-transmission de la distance audible par émetteur radio.

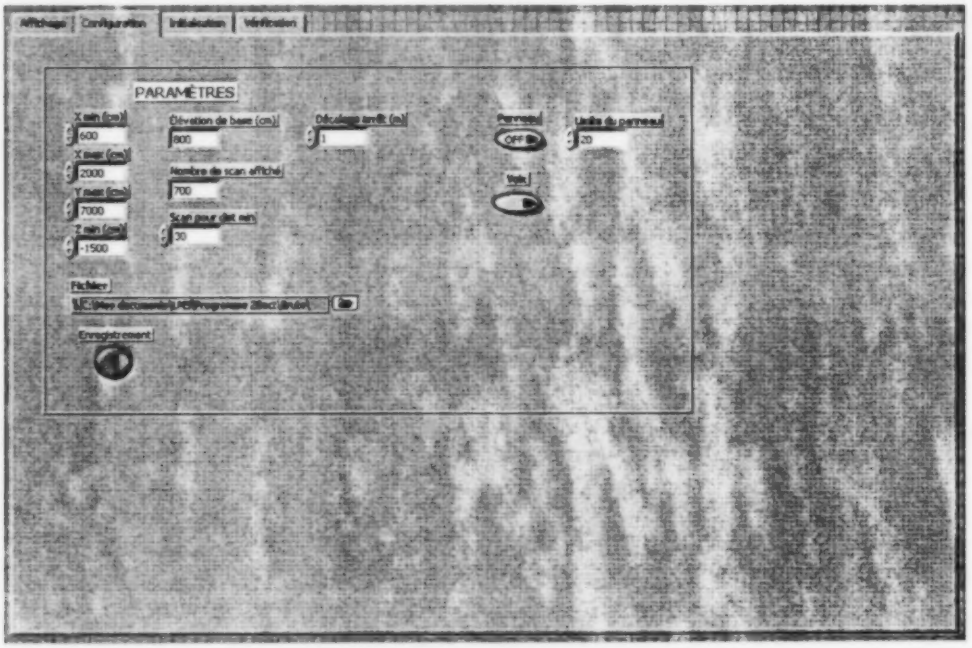


Figure 19 – Onglet configuration

3.2.3 Onglets initialisation et vérification

La fonction de l'onglet «Initialisation» est requise seulement lors d'une première utilisation d'un LMS 211 (voir Figure 20). Une fois branché, il est possible de configurer automatiquement le LMS en cliquant sur le bouton «OK» et d'attendre la fin du processus affichée par la barre de progression.

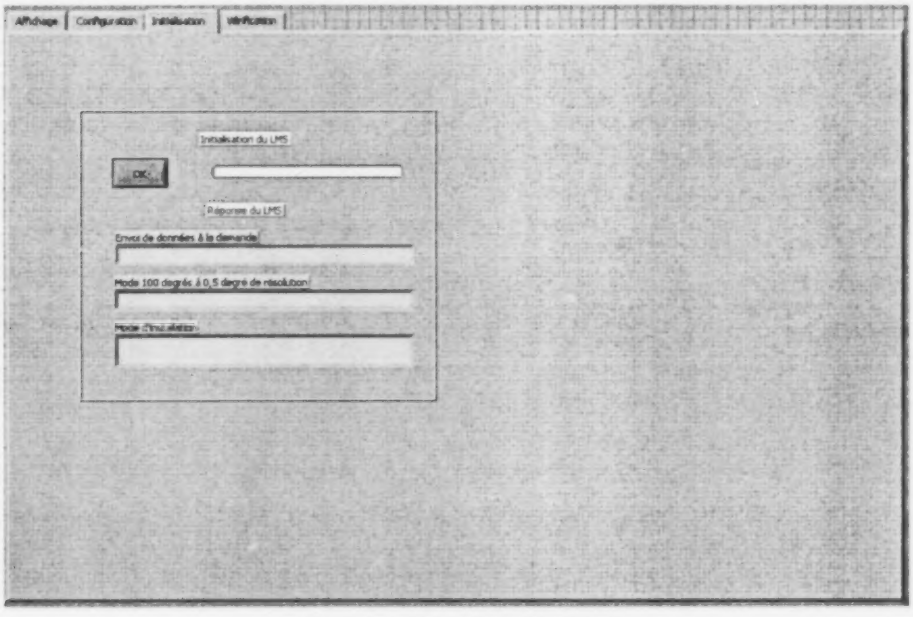


Figure 20 – Onglet initialisation

Le dernier onglet «Vérification» est verrouillé et n'a aucune fonction pour l'utilisateur.

4 ESSAIS

4.1 Description des essais

4.1.1 Objectif

Vérifier la faisabilité d'utiliser l'appareil LMS 211 de la compagnie SICK® afin d'afficher la position des navires par rapport à la ligne d'arrêt de façon automatique. Les facteurs influents sont le niveau de réflectivité du rayon laser sur les coques des navires, le positionnement de l'appareil et les conditions de visibilité extérieure.

4.1.2 Chronologie des essais

Un prototype d'un système de positionnement automatisé des navires dont la composante principale est un LMS 211 a été installé en juin 2005 à l'écluse de Côte Sainte-Catherine.

Le but de cette installation est de donner la distance séparant le point le plus avancé du navire par rapport à la ligne d'arrêt de l'écluse. Les essais servent à faire ressortir les paramètres influençant la précision et la portée de l'appareil de mesure laser.

Les premières données ont pu être enregistrées le 17 juillet 2005 ce qui a permis de commencer l'optimisation de la programmation du logiciel. Les mois d'août et septembre 2005 ont été la période de validation du fonctionnement du système. Les premières données fiables et vérifiables ont été enregistrées en octobre 2005.

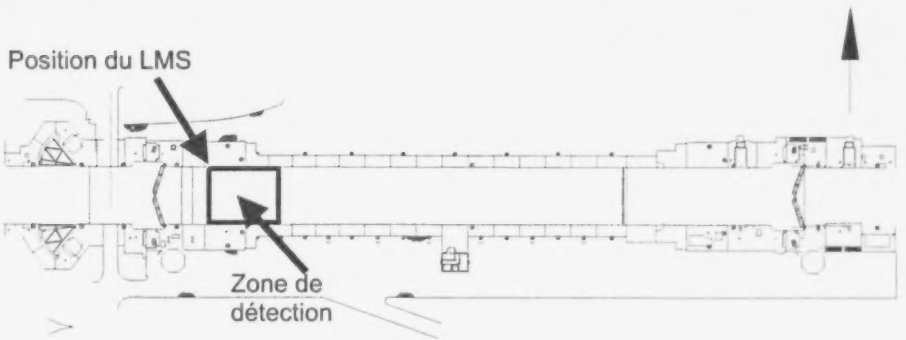
4.1.3 Traitement des données

La façon de traiter l'information du LMS est de recueillir tous les points captés et d'en faire le tri et le filtrage. Une première étape consiste à isoler un couloir de détection dans le canal de l'écluse correspondant aux dimensions maximales d'un navire. Dans ces conditions, tout ce qui est en dehors de ce couloir de détection n'est pas pris en compte. Le résultat obtenu se présente sous le format d'un nuage de point référencé selon un plan cartésien XYZ représentant l'avant du navire. De tous ces points, celui dont la coordonnée est le plus près de zéro (la ligne d'arrêt) est retenu. Cette coordonnée représente la distance à communiquer au capitaine/pilote. Le filtrage devient nécessaire lorsqu'un point n'appartenant pas au navire (exemples : un oiseau, un flocon de neige, etc.) est détecté dans le couloir réservé à la détection à l'avant du navire.

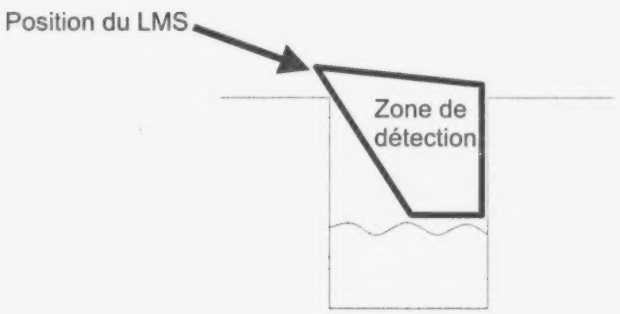
4.2 Résultats et analyse

4.2.1 Position de l'appareil

Le LMS est positionné pour les essais sur un mât d'environ trois mètres de hauteur en amont du côté nord de l'écluse de Côte Sainte-Catherine (voir Figure 21). Cette position permet à l'appareil d'effectuer un balayage couvrant la totalité de l'écluse pour les navires montants à l'élévation de l'eau la plus basse. Il faut éviter d'effectuer un balayage vers le haut afin de protéger la vitre frontale («l'objectif») du LMS des intempéries. Des gouttes d'eau ou des amas de neige pourraient perturber les données.



Vue en plan

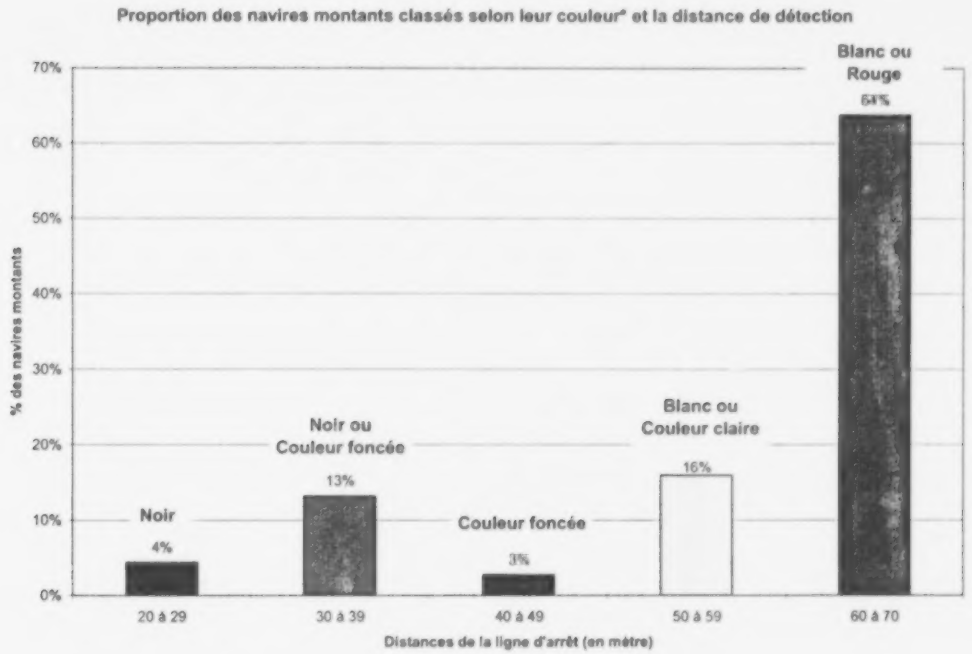


Vue de la section transversale

Figure 21 – Position de l'appareil

4.2.2 Portée de l'appareil

La portée varie selon deux paramètres : la réflectivité de la coque du navire et les conditions météorologiques. La portée maximale est de 70 mètres. La Figure 22 montre la proportion des navires montants selon leur distance de détection par le système de positionnement à partir de la ligne d'arrêt. Chacun des intervalles des distances de détection est associé avec des couleurs de coque des navires. Donc, on peut interpréter dans le graphique de la Figure 22 qu'il y a eu dans l'échantillonnage 64 % des navires qui ont été détectés entre 60 et 70 mètres de la ligne d'arrêt et que la coque de ces navires était en grande partie de couleur rouge ou blanche.



*Couleur la plus réflective de la coque

Figure 22 – Proportion des navires selon leur distance de détection

4.2.2.1 Réflectivité de la coque

C'est le paramètre des essais qui détermine la stratégie à utiliser afin d'être en mesure d'avoir la portée souhaitée. Le Tableau 6 et le diagramme de la figure Figure 23 comparent trois façons de départager la distance minimale requise afin que le système de positionnement transmette au pilote du navire une distance fiable. Le premier tableau «Par transit» indique les proportions de tous les navires qui ont transité dans l'écluse selon leur distance de détection, incluant ceux qui ont transité plus d'une fois. On peut interpréter le tableau de cette façon : première colonne «% des navires» donne, par exemple, que 18 % des navires de l'échantillon ont été détectés à 60 mètres de la ligne d'arrêt. La deuxième colonne «% cumulatif» indique que 64 % de tous les navires de

l'échantillon peuvent être positionné à l'intérieur de 60 mètres de la ligne d'arrêt. Le deuxième tableau «Navires amarrés entre 0 et 15 mètres» exclut tous les navires qui se sont amarrés à plus de 15 mètres de la ligne d'arrêt. Le troisième «Par type de navire» reprend tous les navires qui ont servi dans le tableau «Par transit», mais seulement pour un passage. Si le navire a transité plus d'une fois, un seul transit est pris en compte. Les données de la colonne «Cumulatif %» des trois tableaux sont compilées dans le graphique de la Figure 23.

Tableau 6 – Résultats

Par transit		
Distance (m)	% des navires	Cumulatif %
20	4 %	100 %
30	13 %	96 %
40	3 %	82 %
50	16 %	80 %
60	18 %	64 %
70	46 %	46 %

Navires amarrés entre 0 et 15 mètres		
Distance (m)	% des navires	Cumulatif %
20	7 %	100 %
30	15 %	93 %
40	0 %	78 %
50	7 %	78 %
60	11 %	71 %
70	60 %	60 %

Par type de navire		
Distance (m)	% des navires	Cumulatif %
20	6 %	100 %
30	14 %	94 %
40	3 %	80 %
50	17 %	77 %
60	21 %	59 %
70	39 %	39 %

Données utilisées :

Échantillonnage de navires montants en transit :
Par transit = 182 transits
Navires amarrés entre 0 et 15 mètres = 109 transits
Par type de navire = 116 transits
À titre de référence, 2 600 transits dans les deux sens ont eu lieu dans l'année 2004.

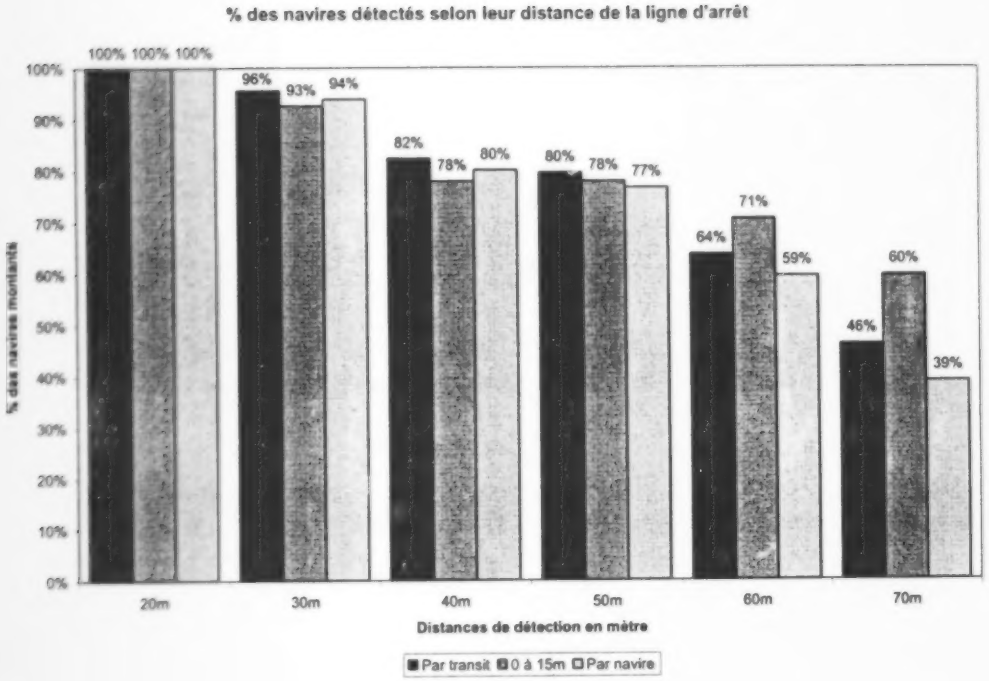


Figure 23 – Distances de détection

4.2.2.2 Conditions météorologiques

Les flocons de neige sont assez denses pour faire réfléchir la lumière émise par la diode laser du LMS. Cette réflexion transmet des coordonnées de points fictifs qui n'appartiennent pas au navire.

Les conditions de pluie n'ont qu'un faible impact sur la qualité et la précision de la mesure. L'analyse de chacun des passages des navires n'a pas permis de déceler une différence notable sur la portée du LMS.

5 CONCLUSIONS

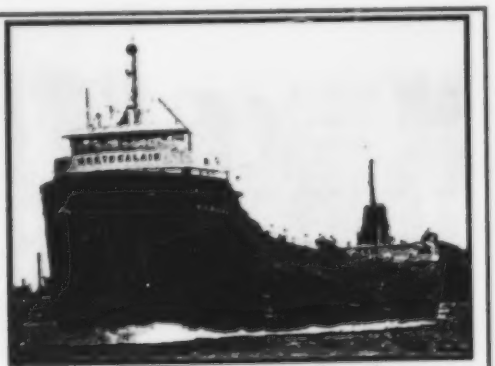
1. Portée de 20 mètres dans les conditions actuelles

La réflectivité d'une coque noire ou bleue foncée permet la détection complète du point le plus en avant du navire à partir de 20 mètres de la ligne d'arrêt. Trois solutions sont possibles afin d'atteindre une plus longue portée : ajouter des appareils aux 20 mètres, peindre une ligne blanche ou rouge à l'avant des navires de couleur foncée pour augmenter leur réflectivité (Figure 24) ou encore, installer une cible réflective de grande dimension sur la partie du navire la plus à l'avant.

Figure 24 – Navire avec ligne blanche

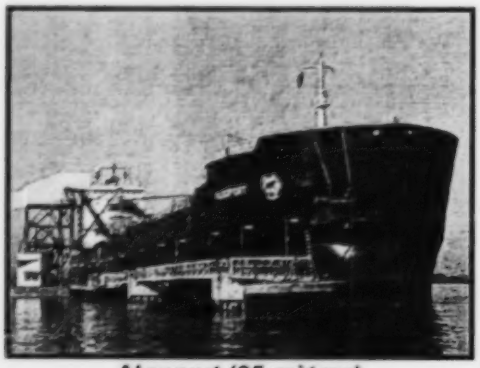
Voici quelques exemples de navires dont la couleur ne permet pas une bonne réémission de la lumière de la diode laser avec leur distance de détection : Redhead (30 mètres); Seneca (30 mètres); Ziema Cieszynska (30 mètres); Ziema Tarnowska (30 mètres); Milo (35 mètres); Lake Maya (35 mètres); Menominee (35 mètres); Toro (35 mètres); Antikeri (30 mètres). La Figure 25 montre d'autres exemples de navires détectables de 20 à 35 mètres.

Québécois (20 mètres)

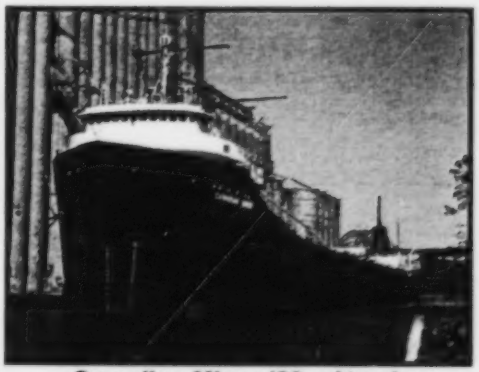


Montréalais (20 mètres)

Algosoo (30 mètres)



Algoport (35 mètres)



Canadian Miner (20 mètres)

Canadian Ranger (25 mètres)

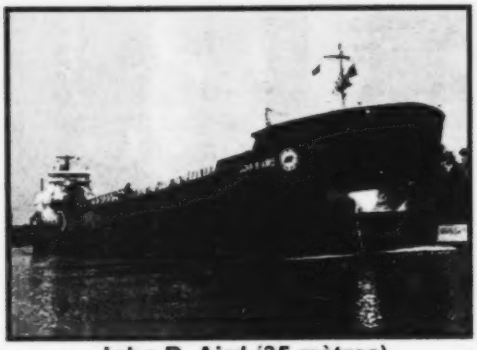
Canadian Progress (20 mètres)

Canadian Leader (20 mètres)

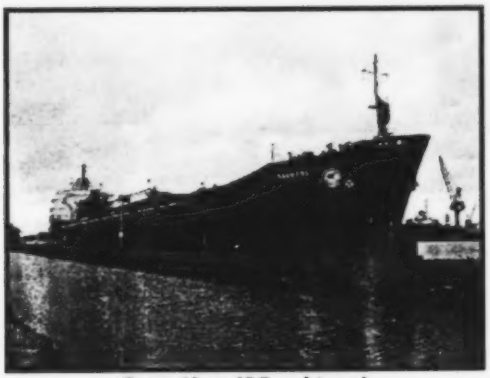
Canadian Enterprise (25 mètres)

Canadian Navigator (30 mètres)

Gordon C. Leitch (30 mètres)



John B. Aird (35 mètres)



Saunière (25 mètres)

Figure 25 – Exemples de navires détectables de 20 à 35 mètres

2. **Panneau d'affichage extérieur et transmission audio comme moyens de communication fonctionnels**

Le prototype est en mesure d'afficher la distance séparant l'avant d'un navire de la ligne d'arrêt sur un panneau d'affichage extérieur. La transmission automatique de messages enregistrés correspondant à 6 distances préétablies par émetteur VHF est aussi concluante.

6 RECOMMANDATIONS

L'installation d'un système permanent est recommandée afin d'améliorer les performances du système. Certains facteurs devront être pris en compte dans l'implantation de ce type de système :

1. **Position plus élevée du système pour les navires descendants.**

Il est à prévoir que l'installation d'un même système du côté aval (navire descendant) nécessitera une tour assez élevée pour couvrir le plus haut des navires afin d'éviter la nécessité d'effectuer un balayage vers le haut et d'exposer la vitre frontale du LMS aux intempéries.

2. **Installation d'un deuxième LMS de chaque côté.**

Les averses de neige causent des interférences en faisant réfléchir la lumière laser sur les flocons ce qui occasionne des points fictifs dans la détection. Un programme de filtration sera en mesure d'isoler ces points pour conserver seulement ceux appartenant aux navires. Ce type de programme possède une limite d'efficacité ne pouvant pas être déterminée pour l'instant. Des essais pendant des averses de neige sont requis. Un autre principe peut être ajouté afin de rendre le système plus fiable en éliminant plus efficacement les points fictifs causés par la détection de la neige. Un deuxième LMS pourrait être positionné au même endroit, mais dont le balayage doit se faire à l'inverse du premier LMS. La soustraction du balayage de chacun permet d'éliminer les points qui n'ont pas été captés par les deux LMS. L'efficacité de ce principe réside sur la probabilité qu'un flocon de neige soit détecté par les deux LMS au même endroit est infime. De plus, l'utilisation d'une deuxième unité permettrait d'augmenter la résolution en captant deux fois plus de points au même instant et d'assurer une plus grande sécurité en cas de panne de l'une des deux unités.

3. **Il est nécessaire d'installer d'autres systèmes de détection extérieurs afin de répondre aux exigences.**

La limite de détection de l'appareil LMS est de 20 mètres pour les navires à coque foncée, ce qui empêche de rencontrer 2 exigences. L'exigence numéro 8 (voir Tableau 1) : *Précision progressive de ± 1 mètre à la ligne centrale jusqu'à 0,03 mètre à la ligne d'arrêt,* ainsi que l'exigence numéro 12 : *Portée du système de la distance 0 mètre (ligne d'arrêt) à la distance 110 mètres (la ligne centrale),* ne peuvent pas être rencontrées avec un seul LMS installé à la ligne d'arrêt de chaque côté de l'écluse pour les navires montants et descendants. Afin d'atteindre une portée de 110 mètres, il est nécessaire de diviser cette distance en tranche de 20 mètres, ce qui donne l'utilisation de 6 unités LMS de chaque côté pour un total de 12 unités par écluse.

4. **Vérifier les effets du vieillissement de la diode laser.**

Il sera nécessaire de laisser fonctionner le LMS sans arrêt sur une longue période de temps afin de vérifier les effets de l'usure de la diode laser sur la portée et la précision.

BIBLIOGRAPHIE

1. Innovation maritime, *Description des concepts*, 25 novembre 2004, 17 p.
2. Innovation maritime, *Traitement de l'image*, 7 décembre 2004, 11 p.
3. Innovation maritime, *Étude des options*, 31 janvier 2005, 25 p.
4. Innovation maritime, *Prototype scanneur laser*, 9 juin 2005, 25 p.
5. Innovation maritime, *Essais du scanneur laser*, 13 janvier 2006, 14 p.
6. Innovation maritime, *Manuel de l'utilisateur*, 13 janvier 2006, 13 p.
7. SICK Optic Electronic, *Laser Measurement System: Technical Description*, juin 2003, 40 p.
8. SICK Optic Electronic, *LMS Telegram Listing*, 4 avril 2003, 128 p.
9. Saint-Lawrence Seaway Management Corporation, *The Seaway handbook*, 2002 Edition, 117 p.

ANNEXE A – Photographies de l'écluse de Côte Sainte-Catherine

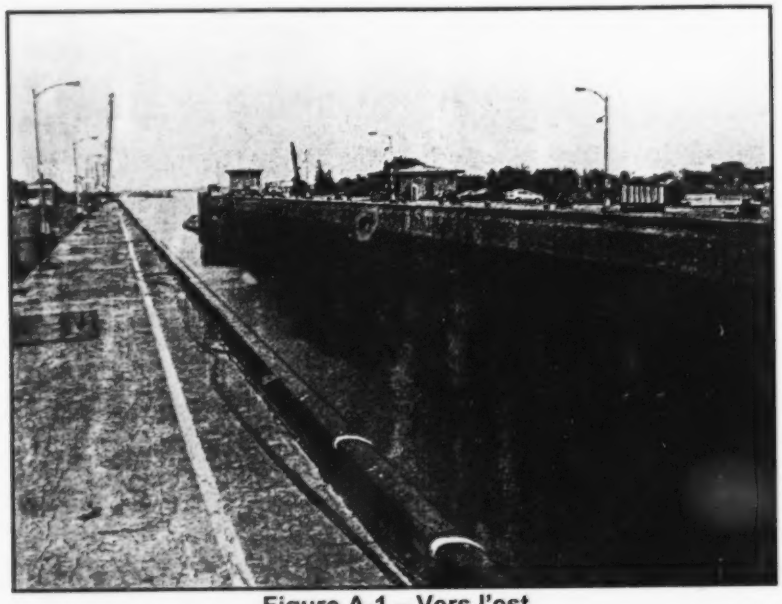


Figure A-1 – Vers l'est

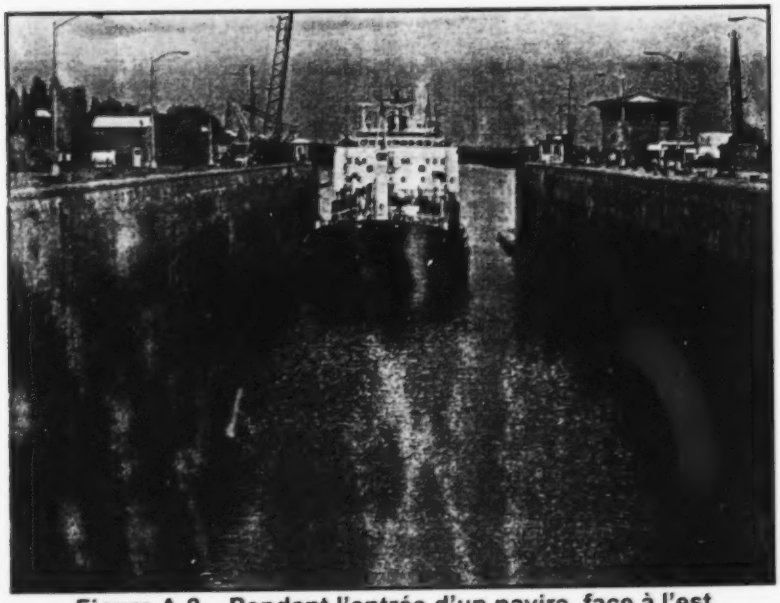


Figure A-2 – Pendant l'entrée d'un navire, face à l'est

ANNEXE B – Photographies du prototype

Le prototype est situé dans le coin nord-ouest de l'écluse de Côte Sainte-Catherine.

Figure B-1 – Vers l'ouest

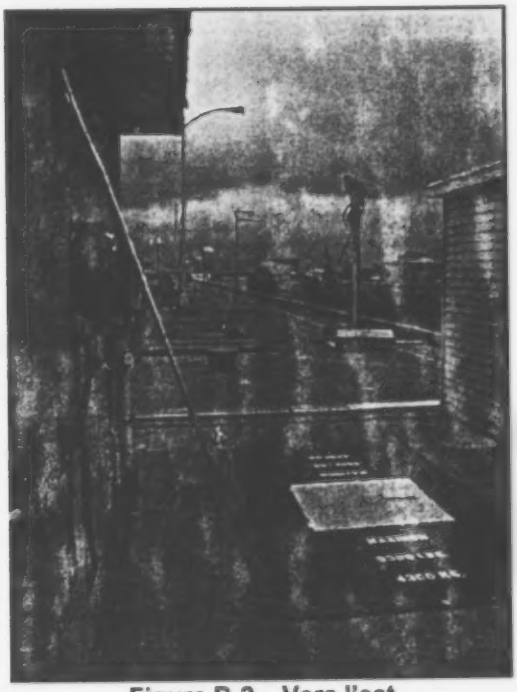


Figure B-2 – Vers l'est

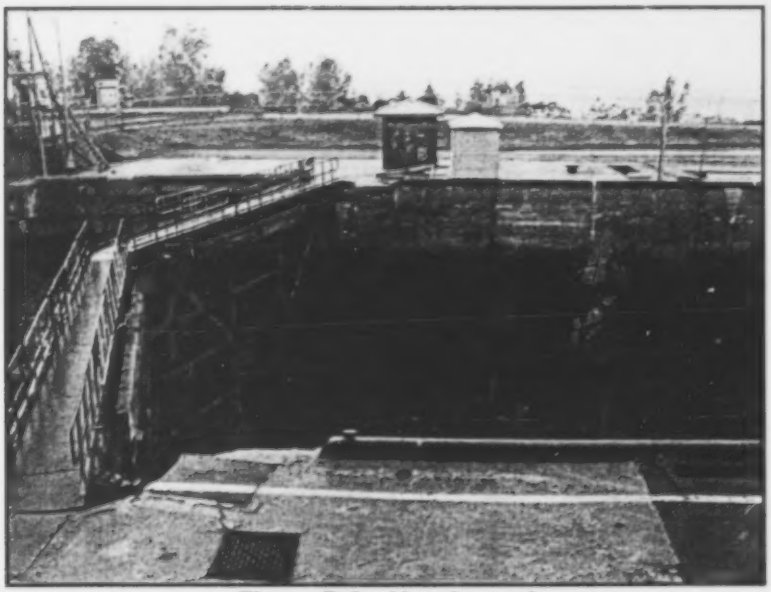


Figure B-3 – Vers le nord

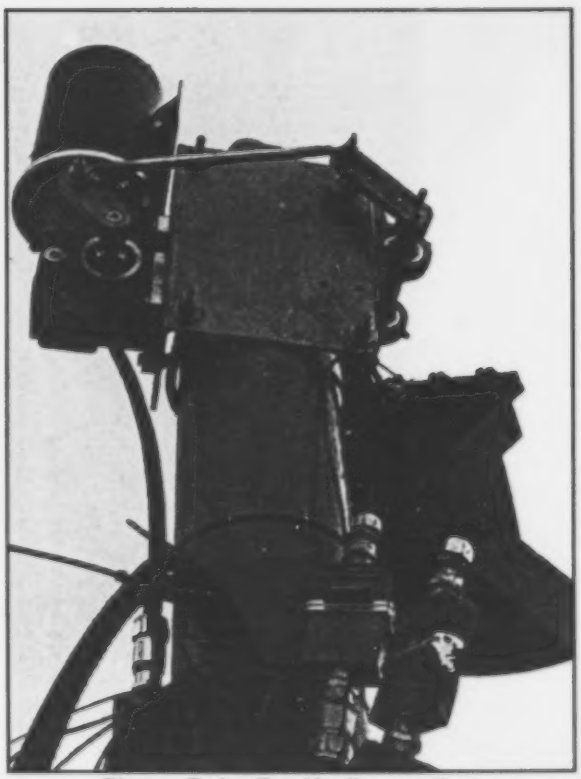


Figure B-4 – En détail, vers l'est

Figure B-5 – En détail, vers le sud

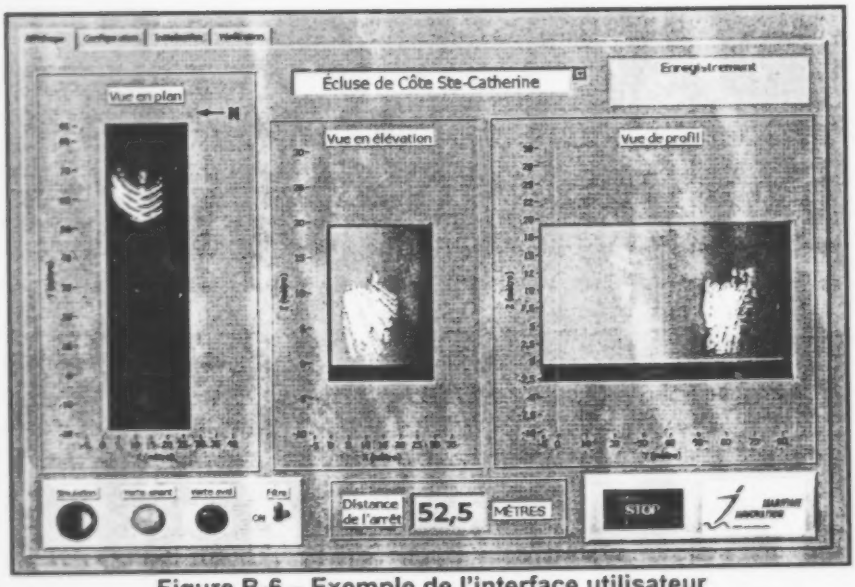


Figure B-6 – Exemple de l'interface utilisateur

ANNEXE C – LMS 211-30206 Description technique

Définition de la précision de la mesure

Résolution
La résolution d'un appareil de mesure est la plus petite distance possible autre que zéro entre deux mesures consécutives individuelles. La résolution peut être réduite en utilisant des valeurs moyennes.

L'erreur systématique
L'erreur systématique est la somme de toutes les déviations sur un intervalle défini de réflectivité, qui ne peut pas être réduite en utilisant des valeurs moyenne.

Déviation standard
La déviation standard est calculée en utilisant au moins 100 valeurs de mesure d'une cible avec une certaine réflectivité à une certaine distance et un certain niveau de luminosité.

1) Résolution angulaire de 0.25° n'est pas possible dans le «monitoring fields mode».

Général	
Portée	max. 80 m
Résolution angulaire	0.25°1)/0.5°/1° (sélectionnable)
Temps de réponse	53 ms/26 ms/13 ms
Résolution de la mesure	10 mm
Erreur du système (conditions environnementales : bonne visibilité, Ta=23°C, réflectivité 10 %...10,000 %)	typ. ± 35 mm (mm-mode), portée 1...20 m typ. ± 5 cm (cm-mode), portée 1...20 m
Déviation standard, erreur statistique (1 sigma)	typ. 10 mm (mm-mode) (portée 1...20 m/ ≥ 10 % réflectivité/ ≤ 5 kLux)
Électrique	
Interface de données	RS 232/RS 422 (configurable)
Taux de transfert	9.6/19.2/38.4/500 kbaud
Sortie commutable, variante standard	3xPNP; typ. 24 V DC OUT A, OUT B max. 250 mA, OUT C max. 100 mA
Sortie commutable, variante à relais	OUT A, OUT B (relais) voltage de commutation max. 48 V CC/26 VAC. Courant de commutation max. 0,7 A; Puissance de commutation max.30 W; OUT C/weak (PNP) typ. 24 V CC, max. 100 mA
Source de tension (scanner-électronique)	24 V CC ± 15 % (max. 500 mV ripple) courant requis max. 1,8 A (incl. charge de sortie)
Source de tension (chauffage)	24 V CC (max. 6 V ripple) courant requis max. 6 A (cyclique)
Consommation de puissance	approx. 20 W (sans les charges de sortie) plus chauffage approx. 140 W
Classe de protection électrique	Isolé sécuritairement, protection classe 2
Classe de protection laser	1 (sécuritaire pour les yeux)
Résistance aux interférences	acc. à IEC 801, part 2-4; EN 50081-1/50082-2
Température d'opération	–30...+50 °C (t de réchauffement approx. 120 min. à T_{min})
Température de stockage	–30...+70 °C
Mécanique	
Grade de protection	IP 65 et IP 67
Poids approx.	approx. 9 kg
Dimensions approx.	350x265x200 mm
Limite de fatigue à la vibration	acc. to IEC 68 part 2-6, table 2c,frequency range 10...150 Hz, amplitude 0.35 mm or 5 g single impact IEC 68 part 2-27, table 2, 15 g/11 ms permanent vibration IEC 68 part 2-29, 10 g/16 ms. Des amortisseurs sont recommandés pour les endroits à vibrations élevées ou soumis à des impacts.